

立足机械工程,服务航空航天

——走进机械结构力学及控制国家重点实验室

Based on Mechanical Engineering, Serve for Aeronautics and Astronautics

[编者按] 机械结构力学及控制国家重点实验室(以下简称实验室)于2011年获国家科技部正式批准建设。实验室的依托单位是南京航空航天大学,主要依托学科为力学、航空宇航科学与技术、机械工程等。我国飞机结构强度和振动工程专家张阿舟先生、结构热强度专家范绪箕先生和智能材料与结构专家陶宝祺先生是实验室的奠基人。赵淳生院士、胡海岩院士和郭万林院士进一步将国家重大需求与前沿基础研究相结合,研究成果显著提升了实验室的学术水平和影响。

发展定位与研究团队

国家需求牵引,学科前沿导向,坚持特色发展,争创一流业绩。以先进飞行器为主要研究载体,特别注重高性能要求和苛刻使用环境,以及新构型、新材料和新工艺等不断涌现所引发的科技挑战,特别注重材料-结构-功能一体化和智能化的趋势给未来飞行器技术带来的发展机遇,致力于解决结构动力学、轻质结构强度、精密驱动系统、微纳智能系统、智能结构等发展中的重大基础问题和关键技术问题,秉持理论与工程实践紧密结合,发展创新理论,突破技术瓶颈,服务国家需求,引领学科发展,推动行业进步。实验室现设置有结构动力学与控制、机械结构强度、振动利用与精密驱动、微纳系统力学、智能材料与结构5个研究方向。

实验室有固定人员76人,其中正高级职称57名。固定研究人员中,国家及省部级人才工程人选41人,包括中国科学院院士3人,发展中国家院士1人,国家级人才计划21人次,国家级青年人才计划10人次,国家自然科学基金创新研究群体1

个;7支团队分别入选教育部、国防科工委、江苏省等省部级团队。

科研成果

实验室在国内率先开展了飞行器结构动力学与控制研究,是国内最早从事飞行器结构强度研究的单位之一,开拓了我国航空智能材料与结构、振动利用与精密驱动技术、非线性动力学与控制、微纳系统力学等新领域,是我国航空航天结构力学与控制领域具有代表性的学术研究机构。

在新型飞行器结构动力学与控制研究方面,实验室解决了我国飞行器研制中的若干振动控制问题,取得多项具有国际影响力的重要成果。胡海岩院士等提出了结构振动控制系统的非线性动力学理论,为振动控制提供了分析和设计方法。研究成果被用于我国首型武装直升机稳瞄系统减振、再入段机动飞行导弹的惯导平台减振、飞行器结构颤振控制等。

实验室在飞行器结构断裂与损伤方面的研究中取得多项有影响的成果。郭万林院士建立了三维裂纹问题的J-Tz-Q理论,解决了三维约束因子理论的计算难题,成果被载入

美国NASA报告、AD报告、澳大利亚DSTO报告等。许希武教授等建立了复合材料结构多缺口和多钉机械连接强度的高效分析方法,成果应用于歼10等飞机复合材料结构连接强度设计,并被编入《复合材料连接手册》。高存法教授系统地研究了压电介质内的裂纹问题,首次给出了Permeable型裂纹问题的精确解。

实验室在超声电机关键技术方面取得重大突破,将我国超声电机技术提升到国际先进水平。赵淳生院士出版的专著“Ultrasonic Motors Technologies and Applications”已成为该领域经典之作,得到了多位国外专家的高度评价。

实验室创立了分子物理力学、纳米尺度物理力学交叉学科,郭万林院士等密切结合未来飞行器材料结构功能一体化的发展趋势,在纳智能材料“机-电-磁-光-热”耦合研究和高效能量转化技术领域形成特色,构建了功能纳米结构力-电-热耦合的物理力学理论体系和基础。近来,开拓了石墨烯界面功能器件新方向,取得了系列成果。

实验室在大规模实时连续监测无线传感器网络的实现、结构导波的

补偿、结构健康监测成像、结构损伤概率诊断和结构疲劳裂纹扩展预测等方面提出了一系列新理论和新方法,显著提高了结构损伤诊断准确性和定位精度。发明了多种同步开关阻尼半主动振动控制方法,为飞行器薄壁结构的减振提供了技术新途径。

2013年至2017年,实验室承担国家级、省部级和横向协作项目共计788项,实到科研经费总计32401万元;获国家技术发明奖二等奖2项,省部级科学技术奖一等奖5项,二等奖5项;发文SCI收录1092篇,EI收录1230篇,出版专著8部(国外出版3部),译著4部,教材9部;授权国家发明专利277项;登记软件著作权5项;获国际性学术机构奖励8项,国内学术机构奖励9项。

成果转化与社会效益

实验室几乎参与了我国所有航空装备重要任务的应用基础研究、预先研究和关键技术攻关。近五年,实验室承担上述任务的研究经费超过总经费的60%,多项新理论和新技术应用于嫦娥工程、C919、神光工程、歼11系列、歼15、歼16、歼20、歼31、运20、直XX、轰XX等20余个重大或重要型号工程,为国家重大科技工程、航空航天装备建设和推动行业进步做出了重要的贡献。

系统发展的结构动力学理论与方法,解决了我国舰载机、预警机、轰炸机、直升机、无人机等型号的研制、改型、试飞和服役中的精细建模、动载荷识别、隔振减振设计、振动控制等难题。例如,提出的歼15着舰时机舰非线性弹性耦合动力学分析与阻拦索控制方法得到采用,满足了舰载机起降的战技指标要求;提出了轰XX战略武器发射的动力学设计方案,达到了改型飞机结构动强度和结构可靠性要求;实现了直XX振动

的主动控制,减振水平达到国际先进指标,振动主动控制系统国内首次机载安装;提出的XX预警机机舰耦合动力学设计方案,为型号研制提供了强有力的保障。

在机构高效能量吸收、抗瞬态冲击、机构操纵、碰撞反弹及碰撞过程的稳定可控等方面解决多项关键技术问题,形成了我国系统完整的飞行器起落装置设计、分析与试验技术体系;丰富和发展了我国着陆缓冲装置与对接机构的设计和技术体系。成果应用于歼15、歼XX、XX预警机、C919等航空重要型号工程,解决了起落架弹射与突伸、收放与锁定、驱动与控制等难题;应用于“嫦娥三号”,神舟八号、九号和十号,天宫一号等航天器着陆缓冲和对接机构的研制,以及对火星探测器、小行星探测器和空间站的技术支撑。

发明了一种含裂纹金属梯度复合结构的剩余强度预测方法,解决了传统方法进行金属梯度复合结构建模计算量大、精度差等难题,成果应用于歼11、歼15、歼16、歼31等多个航空重要型号工程的综合强度设计分析与评定。提出的大展弦比复合材料结构受力分析与结构优化技术,在结构减重、颤振临界速度提高、稳定性因子提高等方面效果显著,应用于几乎所有现役和在研的大中型无人机的大展弦比机翼结构设计,推动了该项技术的发展。

解决了极端环境下的弹性体振动/波动控制及其利用的若干难题,开创了压电精密驱动技术在我国航空航天领域应用的先河,使我国成为世界上第二个将超声电机成功应用于航天工程的国家。从“嫦娥三号”登月至退役,所用超声电机始终处于正常工作状态;超声电机伴随世界首颗量子科学实验卫星“墨子号”升空,工作正常;用于“嫦娥五号”的超

声电机正以全状态等待发射;用于制导弹药的抗大冲击过载超声电机完成试验验证,综合性能优异;大行程、高精度、快响应的直线压电电机应用于“神光工程”。

提出飞行器结构健康监测与预测新理论和新方法,成功研发满足机载要求、具有国际先进水平的系列压电结构健康监测集成扫查系统。成果应用于我国最新一代战机综合健康监测及预测系统研制,现役主力战机全机疲劳试验和结构延寿任务,运XX和ARJ21-700全机疲劳试验,C919中央翼盒段和XX无人机复合材料整体结构健康监测等,为国家重点型号的结构优化和结构延寿提供了重要技术保障,为飞行器实现视情维护迈出了坚实的一步。相关装备已应用于行业内20多家研究机构。

人才培养与国际交流

实验室十分注重航空航天人才的培养。2019年,实验室在读硕士研究生436人、博士研究生213人,在站博士后31人,约一半的毕业研究生进入了各大航空航天院所工作。

实验室获2018年度高等教育国家级教学成果奖一等奖1项,二等奖1项。实验室共有4篇研究生学位论文被评为“全国优秀博士学位论文”,4篇获“全国优秀博士学位论文”提名。

实验室设有工程力学专业“钱伟长班”,实行本硕博贯通培养,形成了特色鲜明的精英化培养模式,培养的学生多次在“周培源全国大学生力学竞赛”、国际大学生工程力学竞赛中摘金夺银,位列三甲。

实验室建有国家“111计划”学科创新引智基地,与20多所国际知名大学和研究机构建立了长期稳定的合作关系;2位外国专家获国家“友谊奖”。(采访 雷松)